Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 14, No. 1, June 2023, p. 133-145
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v14i1.2207-1041

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۴ شمارهٔ۱، نیمهٔ اوّل ۱۴۰۲
صفحهٔ ۱۴۵-۱۳۳، نوع مقاله: پژوهشی




بهینه‌سازی ویژگی‌های عملکردی امولسیون و کف ایزوله پروتئینی عدس رقم کیمیا

مژگان اسدبیگی[۱]، نفیسه زمین‌دار[۲]* و محمد گلی[۳]

۱- کارشناسی‌ارشد علوم و صنایع غذایی و شیمی مواد غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛
mojganasssad@gmail.com
۲- دانشیار علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛
n.zamindar@khuisf.ac.ir؛ شناسه ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۹۰۹۸-۴۲۸۲
۳- دانشیار علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛
mgolifood@yahoo.com

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵، **بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۸/۲۴، **پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۰/۲۰؛ **انتشار آنلاین مقاله:** ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
اسدبیگی، م.، زمین‌دار، ن.، و گلی، م. ۱۴۰۲. بهینه‌سازی ویژگی‌های عملکردی امولسیون و کف ایزوله پروتئینی عدس رقم کیمیا. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۴(۱): ۱۴۵-۱۳۳.

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر سه متغیر مستقل دما (۴-۳۰) درجه سانتی‌گراد، زمان (۲۰-۶۰) دقیقه و pH (۱۰-۸/۵) بر روی میزان استخراج پروتئین عدس کیمیا، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و خصوصیات عملکردی پروتئین عدس استخراج‌شده شامل ظرفیت و پایداری امولسیون، ظرفیت تشکیل و پایداری کف در طی ۲۰ اجرای استاندارد با استفاده از روش سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی و شش تکرار در نقطه مرکزی، مورد ارزیابی قرار گرفت. حداکثر بازده پروتئین با شرایط بهینه‌ی دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۰ دقیقه و مقدار pH ۸/۶ به‌دست آمد. بیشترین پایداری کف پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف در pH برابر با ۸/۵ مشاهده شد و در pH برابر ۱۰ ظرفیت امولسیون‌کنندگی بیشترین مقدار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که ایزوله پروتئین عدس رقم کیمیا قابلیت استفاده به‌عنوان جزئی از فرمولاسیون غذایی را دارد که ارزش غذایی و ویژگی‌های عملکردی محصول را افزایش می‌دهد. علاوه بر این می‌توان ایزوله پروتئین عدس را یک پروتئین طبیعی با کیفیت بالا در نظر گرفت و به‌عنوان ماده مغذی یا ماده اصلی غذاهای مفید برای سلامتی بشر استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی؛ پایداری امولسیون؛ پروتئین عدس؛ ظرفیت تشکیل کف

مقدمه

حبوبات بخش مهمی از رژیم غذایی انسان بوده که کلیه تأثیرات مفید تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی را بر سلامت انسان فراهم می‌کنند. حبوبات غنی از پروتئین، کربوهیدرات‌ها و فیبرهای غذایی و سایر اجزای فعال زیستی بوده و چربی کمی دارند، که به حفظ وزن بدن کمک کرده و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش می‌دهند و مصرف آنها در سراسر جهان گسترش می‌یابد. علاوه بر این، حبوبات همچنین سرشار از ویتامین‌های فولات، تیامین (b1)، ریبوفلاوین (b2) و نیاسین (b3) و مواد معدنی (پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر و آهن) هستند. بدلیل پروتئین زیاد و کم هزینه بودن، از حبوبات به عنوان «گوشت افراد فقیر» یاد می‌شود (Venkidasamy *et al.*, 2019).

عدس (*Lens culinaris*)، مقادیر قابل توجهی از مواد مغذی ضروری را برای زندگی سالم فراهم می‌کند. عدس یک منبع غذایی غنی از کربوهیدرات‌ها با قابلیت هضم پایین است (همچنین به‌عنوان کربوهیدرات‌های پری بیوتیک شناخته می‌شود) که رشد و فعالیت باکتری‌های روده بزرگ را تحریک می‌کند. این باکتری‌های مفید اسیدهای چرب کوتاه زنجیره‌ای تولید که منبع انرژی کولونوسیت‌ها را فراهم می‌کنند، که منجر به کاهش چاقی و بیماری‌های غیر واگیر مربوط می‌شود. به همین ترتیب، محصولات غنی شده با کربوهیدرات‌های پری بیوتیک در حال تبدیل شدن به محبوب ترین غذاهای تقویت

* نویسنده مسئول: n.zamindar@khuisf.ac.ir

کننده سلامتی در رژیم‌های غذایی انسان هستند (Costa *et al*., 2006; Niroshan *et al*., 2017).

خصوصیات عملکردی مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی که ممکن است رفتار پروتئین‌ها را در سیستم‌های غذایی در هنگام پردازش، ذخیره‌سازی، تهیه و مصرف تعدیل کند. خواصی مانند حلالیت پروتئین (PS)، ظرفیت جذب آب و روغن (WAC و FAC)، ظرفیت کف (FC) و پایداری کف (FS)، فعالیت امولسیون و تشکیل ژل، به تعامل پروتئین‌ها با سایر مولکول‌ها مانند کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها، نمک‌ها، مواد فرار و آب مربوط می‌شود (Barac *et al*., 2015; Boye *et al*., 2010; Day, 2013; Shevkani *et al*., 2015).

Ee-San Tan *et al*., (2014) بهینه سازی عملکرد استخراج پروتئین از لوبیا چیتی با استفاده از روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند. حداکثر عملکرد پروتئین ۵۴/۸ میلی گرم در گرم با شرایط مطلوب دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱ ساعت و نسبت بافر به نمونه ۲۰ میلی لیتر در گرم به‌دست آمد. خواص دیگر مانند اطلاعات ساختاری، ظرفیت ژل، ظرفیت نگهداری آب و روغن، پایداری امولسیون و همچنین قابلیت هضم نیز گزارش شد.

Menjxia Du *et al*., (2017) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ویژگی‌های عملکردی و ترکیب آمینو اسید ایزوله پروتئین ماش (MPI) را تعیین و برای کشف پتانسیل آن در صنایع غذایی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که پروتئین استخراج شده دارای قابلیت حلالیت خوب، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت جذب روغن، امولسیفایر و کف کردن است. MPI همچنین ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت جذب روغن را مشابه با ایزوله پروتئین سویا موجود در بازار نشان داد.

Yejun Deng *et al*., (2019) بیان کردند ایزوله پروتئین بذر گشنیز چینی (CPI) با استفاده از استخراج آبی و روش بارش ایزوالکتریک استخراج شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که CPI حاوی کلیه اسیدهای آمینه ضروری به استثنای متیونین و دارای ظرفیت امولسیون بالا، پایداری کف، ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت جذب روغن و همچنین ظرفیت تشکیل ژل برجسته ای است.

منابع تجاری پروتئین عدس در صنایع غذایی محدود بوده در حالیکه تولید آن در کشور و جهان قابل توجه است. تاکنون نیز بهینه سازی پروتئین ارقام عدس ایرانی انجام نگرفته است. به همین منظور در این پژوهش، استخراج و بهینه سازی پروتئین عدس رقم کیمیا و ارزیابی خواص عملکردی آن از جمله ظرفیت امولسیون کنندگی، ظرفیت تولید کف در تشکیل و تولید سیستم‌های مختلف غذایی و بررسی تأثیر برخی از عوامل مانند زمان، pH و دمای استخراج با استفاده از روش سطح پاسخ بر ویژگی‌های ایزوله پروتئین عدس رقم کیمیا برای معرفی و ارائه منبع جدیدی از پروتئین حبوبات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماده اولیه مورد استفاده در این پژوهش دانه عدس سبز رقم کیمیا بوده که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمانشاه تهیه شده است. دانه‌ها عاری از هرگونه خرابی و آفات بوده و از هرنوع ناخالصی و مواد خارجی پاک شده‌اند. سپس با استفاده از آسیاب برقی بصورت آرد در آمده و تا زمان استفاده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

تهیه پودرهای استون

برای حذف ترکیبات فنلی و لیپیدها، از پودرهای استون به‌عنوان منابع عصاره پروتئین استفاده شد. برای تهیه پودرهای استون، ابتدا ۵۰ گرم نمونه عدس خشک آسیاب شده در مخلوط کن بمدت ۳ دقیقه با ۲۰۰ میلی لیتر استون همگن شد. سپس دوغاب به‌دست آمده به وسیله پمپ خلاء، قیف بوخنر و کاغذ صافی فیلتر شد. رسوب باقیمانده روی کاغذ صافی جمع‌آوری و سپس همگن‌سازی با ۲۰۰ میلی لیتر استون و فیلتراسیون دو بار دیگر برای باقیمانده جمع‌آوری شده تکرار شد. درنهایت پودر به‌دست آمده، در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد ذخیره شد تا در استخراج مورد استفاده قرار گیرد (Arcan & Yemenicioglu, 2007).

استخراج پروتئین

برای به‌دست آوردن ایزوله پروتئین خام، ۲۰ گرم پودر استون تولید شده در ۲۵۰ میلی لیتر آب دیونیزه با ۱۰۰ بار هم زدن با میله شیشه‌ای معلق شد. سپس بمدت ۳۰ دقیقه بر روی استیرر قرار گرفت. دراین مرحله pH اولیه مخلوط با استفاده از یک مول بر لیتر سود (NaOH) مطابق جدول RSM تنظیم شد. سپس مخلوط مطابق جدول RSM با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع رویی جمع‌آوری و با یک مول بر لیتر اسید استیک به pH ۴/۵ تنظیم شد. سپس مخلوط دوباره طبق جدول RSM با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس رسوب به‌دست آمده با میزان کمی آب دیونیزه معلق و سپس pHرسوب با یک مول بر لیتر سود روی ۷ تنظیم شد و درون پتری دیش ریخته و به مدت ۲۴ ساعت درون دستگاه خشک کن انجمادی در دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و

سرانجام در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد ذخیره سازی تا اینکه برای توصیف خصوصیات عملکردی آنها استفاده شد (Aydemir & Yemenicioglu, 2013).

ظرفیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون

برای تهیه امولسیون، ۰/۰۹ گرم پروتئین استخراج شده عدس با ۹ گرم آب مخلوط شد تا محلول شفاف به‌دست آید و قسمت اعظم پروتئین در آب حل شده باشد. امولسیون روغن در آب با افزودن ۱ میلی لیتر روغن به ۹ میلی لیتر محلول ایزوله ۱٪ با تنظیم pH به ۷ با استفاده از یک مول بر لیتر سود (NaOH) تهیه شد. سپس نمونه توسط میله شیشه‌ای هم زده شد و با استفاده از هموژنایزر اولتراتوراکس با سرعت ۱۱۰۰۰ دور بر دقیقه در دمای اتاق به مدت یک دقیقه هموژن گردید (Papalamprou, E, M *et al*., 2009).

امولسیون‌ها بلافاصله پس از هموژن شدن، برای ۵ دقیقه در دمای اتاق با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. ظرفیت امولسیون‌کنندگی از تقسیم حجم امولسیون به حجم کل محلول قبل از امولسیون به‌دست می‌آید. ظرفیت امولسیون کنندگی از رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

امولسیون تهیه شده بمدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس با ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ شد. ثبات امولسیون از تقسیم حجم نهایی امولسیون به حجم اولیه محلول قبل از امولسیون شدن به‌دست آمد. ثبات امولسیون از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

ظرفیت کف کنندگی و پایداری کف

۲۵۰ میلی گرم پروتئین با ۲۵ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد و pH آن با یک مول بر لیتر سود (NaOH) روی هفت تنظیم شد. محلول‌های پروتئینی در دمای اتاق آماده شدند، محلول‌ها سپس در دستگاه هموژنایزر اولتراتوراکس با سرعت ۱۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه همگن شدند تا کف ایجاد شود (Aydemir & Yemenicioglu, 2013).

ظرفیت کف‌دهی با اندازه‌گیری حجم کف تشکیل شده در همان لحظه تشکیل کف (زمان صفر) بصورت میلی لیتر تعیین شد.

پایداری کف با اندازه‌گیری حجم کف در دقیقه ۳۰ و ۱۸۰ تشکیل کف تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری

بمنظور مدل‌سازی و بهینه‌یابی شرایط استخراج پروتئین از دانه عدس سبز رقم کیمیا تأثیر متغیرهای مستقل شامل pH، مدت زمان سانتریفیوژ و دما از روش سطح پاسخ (RSM) و نرم افزار دیزاین اکسپرت استفاده شد. بدین منظور، طرح مرکب مرکزی و ۶ تکرار در نقطه مرکزی طی ۲۰ اجرا برای بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی و عملکردی ایزوله پروتئین عدس سبز مورد استفاده قرار گرفت. بازده استخراج پروتئین عدس رقم کیمیا با پیش‌بینی مدل توسط آزمون T-student در سطح احتمال ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی آماری بهینه سازی شرایط فرایندی با روش سطح پاسخ

جدول (۱) مقادیر واقعی و کددار متغیرهای مستقل مورد استفاده برای طراحی تجربی استخراج عدس رقم کیمیا را نشان می‌دهد.

رابطه (۱) ارتفاع کل محتویات در لوله/ارتفاع لایه امولسیون شده در لوله = ظرفیت امولسیون کنندگی

رابطه (۲) حجم اولیه امولسیون/حجم نهایی امولسیون = ثبات امولسیون کنندگی

جدول ۱- مقادیر واقعی و کددار متغیرهای مستقل مورد استفاده برای طراحی تجربی

Table 1. The real and coded values of independent variables for experimental design

Independent variables متغیرهای مستقل	Coded values مقادیر کددار		
	-1	0	1
Extraction time (min) زمان استخراج (دقیقه)	20	40	60
Extraction Temperature (ºC) دمای استخراج (درجه سانتی‌گراد)	4	17	30
pH پی.اچ	8.5	9.25	10

ارزیابی راندمان استخراج پروتئین

طبق نتایج آنالیز واریانس متغیر های pH و زمان تأثیر معنی‌داری بر روی میزان استخراج پروتئین عدس نداشتند (P>0.05). در حالی که دما تأثیر معنی‌داری بر روی استخراج پروتئین داشت (P<0.05). با توجه به نتایج، با افزایش دما از ۴ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد میزان استخراج پروتئین عدس، افزایش پیدا کرد. به طوری که بیشترین میزان استخراج پروتئین عدس در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده است، اما افزایش زمان و pH بر روی استخراج پروتئین عدس قابل توجه و معنی دار نبود (P>0.05). Menjxia Du *et al.*, (2017) اثرات سه پارامتر استخراج، نسبت ماده به محلول، مقدار pH اولیه و دمای استخراج بر تولید پروتئین ماش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بازده پروتئین تجربی در شرایط مختلف آزمایش از ۶۳/۵۱٪ تا ۷۷/۳۲٪ متغیر بود. به نظر می رسد تولید پروتئین با توجه به شرایط استخراج داده شده، متفاوت باشد.

ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت امولسیون کنندگی و پایداری امولسیون ایزوله عدس

خواص امولسیون کنندگی پروتئین‌ها نشان دهنده مهمترین ویژگی عملکردی آنها به‌عنوان ترکیبات چند منظوره برای کاربردهای مختلف غذایی است. امولسیفایرها ترکیباتی با قابلیت تشکیل لایه‌های رابط (امولسیون) بین مایعات غیر قابل امتزاج هستند. پروتئین‌ها بدلیل ماهیت آمفیفیلیک می‌توانند به عنوان امولسیفایر در تولید مواد غذایی صنعتی استفاده شوند (Barac *et al.*, 2015; Liang & Tang, 2013; Porras-Saavedra *et al.*, 2013).

هنگامیکه پروتئین برای کاربرد به‌عنوان امولسیفایر/تثبیت کننده در نظر گرفته شده باشد، ویژگی‌های امولسیون کننده و سطحی از خواص عملکردی مهم پروتئین‌ها هستند. خواص امولسیون‌کنندگی پروتئین تحت تأثیر سرعت جذب در سطح مشترک روغن-آب، مقدار پروتئین جذب شده، بازآرایی ساختاری پروتئین در سطح مشترک، میزان کاهش کشش سطحی و تشکیل یک لایه منسجم است (Damodaran, 1994).

طبق نتایج آنالیز واریانس برای ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت امولسیون‌کنندگی، F-Value مدل درجه دوم برابر با ۹۳/۳۱ و در نتیجه مدل معنادار است. این پارامتر برای مقایسه واریانس مدل با واریانس باقیمانده می‌باشد. اگر واریانس‌ها به یکدیگر نزدیک باشند، این نسبت به ۱ نزدیک خواهد بود. مقدار بالای این پارامتر برای مدل نشان دهنده کارایی مدل است. مقدار p-value کم تر از ۰/۰۵ بوده و بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۰/۶۷۷۱ بوده و بیانگر آن است که عدم برازش معنادار نیست. بعبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند (p-value<0.05). مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۵۸۷ و نشان می‌دهد که این عدد کاملاً به ۱ نزدیک می‌باشد و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precision نسبت سیگنال به نویز را اندازه‌گیری کرده و محدوده مقادیر پیش‌بینی شده را در نقاط طراحی با میانگین خطای پیش‌بینی مقایسه می‌کند. این پارامتر بیانگر کارایی مدل برای پیش‌بینی پاسخ است. نسبت بزرگتر از چهار مطلوب می‌باشد که در این مدل عدد ۲۱/۸۱ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۸۵۱۲ و Adj R-Squared برابر با ۰/۹۲۸۷ بوده که هر چقدر این دو مقدار بهم نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده دقت خوب مدل است.

نمودارهای سطح پاسخ سه بعدی ظرفیت امولسیون کنندگی

در شکل (۱) (a)، اثر متقابل تأثیر متغیرهای زمان و pH بر روی ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس نشان داده شده است. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای، دما و زمان تأثیر معنی داری بر روی ظرفیت امولسیون کنندگی پروتئین عدس نداشتند (P>0.05) و متغیر pH دارای تأثیر معنا داری می باشد (P<0.05).

با توجه به نمودار، مشاهده می‌شود که در دمای ثابت ۴ درجه سانتی‌گراد، با افزایش pH ظرفیت امولسیون کنندگی پروتئین عدس افزایش یافت. علاوه بر این، با افزایش زمان ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس کمی افزایش پیدا کرد بطوری که در pH برابر ۹/۷ تا ۱۰، و زمان ۵۲ تا ۶۰ دقیقه پروتئین عدس بیشترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی را داشت. Deng *et al.*, (2019) ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون ایزوله پروتئین دانه به را در pHهای مختلف ارزیابی و گزارش کردند که با افزایش pH از ۲ به ۴، ظرفیت امولسیون‌کنندگی به سرعت کاهش یافت و کمترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی در pH برابر ۴ در نزدیکی نقطه ایزوالکتریک دیده شد. با این حال با افزایش pH از ۵ به ۱۰، ظرفیت امولسیون‌کنندگی به طور متوالی افزایش پیدا کرد و در pH برابر ۱۰ به بالاترین مقدار خود رسید. در مطالعه‌ای دیگر، Rahmati *et al.*, (2017)، در بررسی ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین سه ژنوتیپ مختلف لوبیا نشان دادند که ظرفیت امولسیون‌کنندگی وابسته به نوع پروتئین و pH می‌باشد. پروتئین به‌دست آمده از هر سه ژنوتیپ مختلف لوبیا

حداقل ظرفیت امولسیون‌کنندگی را در pH برابر با ۵ نشان دادند. بیشترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی در pHهای ۵ و ۷ برای پروتئین لوبیا پاچ باقلا به دست آمد که می‌تواند بدلیل حلالیت بیشتر این پروتئین در این دو pH باشد.

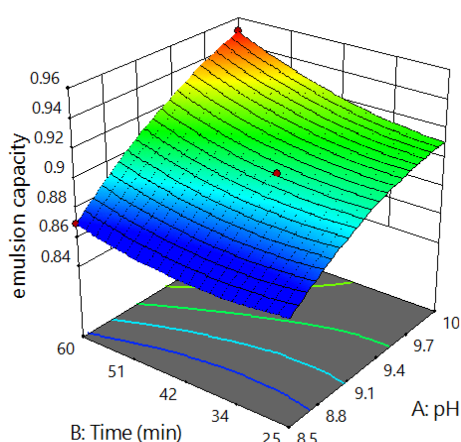
با توجه به شکل (۱) (b)، مشخص است که در زمان ثابت ۲۰ دقیقه، با افزایش دما ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس افزایش پیدا کرد و افزایش pH ظرفیت امولسیون‌کنندگی را کاهش داد بطوریکه در pH برابر ۸/۵، و دماهای ۲۶ تا ۳۰ پروتئین عدس بیشترین ظرفیت امولسیون‌کنندگی را داشت. شکل (۱) (c)، نتایج مربوط به تأثیرپذیری ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس از اثر متقابل متغیرهای دما و زمان را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مشاهده می‌شود که در pH ثابت برابر ۸/۵، افزایش دما کمی موجب افزایش ظرفیت امولسیون و افزایش زمان باعث کاهش ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس می‌شود.

با توجه به موارد عنوان شده، ظرفیت امولسیون کنندگی پروتئین عدس مطابق رابطه (۳) بەدست می‌آید:

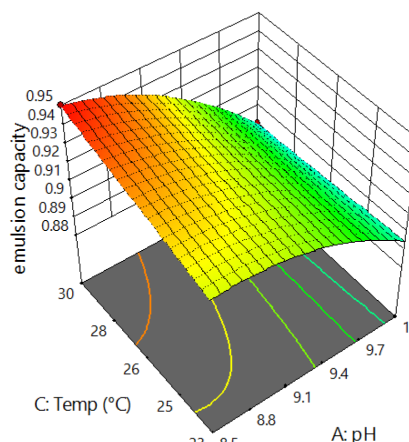
که در این رابطه Y ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس، A نماد pH، B زمان سانتریفیوژ و C دمای سانتریفیوژ می‌باشد.

رابطه (۳)

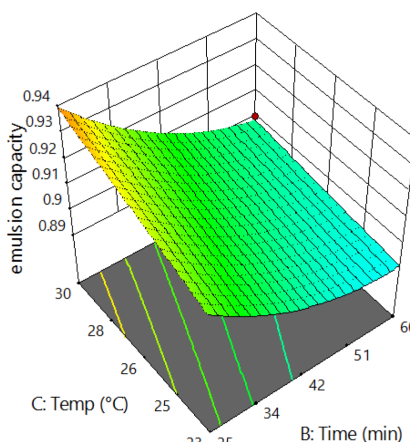
$$= 0.9010 + (0.005 \times A) - (0.003 \times B) + (0.002 \times C) + (0.0087 \times A \times B) - (0.0263 \times A \times C) - (0.0138 \times B \times C) - (0.01 \times A^2) + (0.01 \times B^2)$$



(a)



(b)



(c)

شکل ۱- نمودار سه بعدی اثر متقابل زمان و pH (a)، دما و pH (b)، زمان و دما (c) بر روی ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس

Fig. 1. The interaction of time and pH (a), the interaction of temperature and pH (b), the interaction of time and temperature (c) on the emulsion capacity of lentil protein

طبق نتایج آنالیز واریانس برای ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری امولسیون کنندگی، مشاهده می‌گردد که F-Value برابر با ۷۹/۱۰ است، در نتیجه مدل معنادار است. مقدار p-value کم تر از ۰/۰۵ است (۰/۰۰۱)، بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. مقدار F-value مربوط به Lack of Fit برابر با ۰/۴۹۸۶ است. بیانگر آن است که عدم برازش معنادار نیست. بعبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند (p-value >0.05). مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۶۵۸ و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precision در این مدل عدد ۳۹/۳۸ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۹۳۸۱ و Adj R-Squared برابر با ۰/۹۵۳۶ است.

نمودارهای سطح پاسخ سه بعدی پایداری امولسیون

نتایج اندازه‌گیری پایداری امولسیون در شکل (۲) آورده شده است. نتایج نشان داد که تغییرات دما، زمان و pH تأثیر معنی‌داری بر روی پایداری امولسیون پروتئین عدس داشتند (P<0.05). همانطور که در شکل (۲) (a)، مشخص است تأثیر متغیرهای زمان و pH بر روی شاخص پایداری امولسیون ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش pH و قلیائیت محیط و همچنین افزایش زمان از ۲۰ تا ۶۰ دقیقه، میزان پایداری امولسیون پروتئین عدس کاهش پیدا کرده است. شکل (۲) (b)، تأثیر دما و pH بر روی پایداری امولسیون پروتئین عدس را نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که در زمان ثابت ۴۰ دقیقه، با افزایش دما از ۴ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش pH از ۸.۵ به ۱۰، پایداری امولسیون افزایش پیدا کرده است (P<0.05). همسو با نتایج پژوهش حاضر، Deng *et al.,* (2019) ، گزارش کردند که با افزایش pH تا ۱۰ پایداری امولسیون پروتئین دانه به، بتدریج افزایش پیدا کرد. این محققین بیان کردند که کمترین پایداری امولسیون در pH برابر ۴ در نزدیکی نقطه ایزوالکتریک مشاهده شد که علت آن می‌تواند حلالیت ضعیف، هیدراتاسیون نامناسب و دافعه الکترواستاتیک ضعیف در بین مولکول‌های پروتئین باشد. اما با افزایش pH در بالاتر از نقطه ایزوالکتریک تا pH برابر ۱۰ پایداری امولسیون افزایش یافت. همچنین در شکل (۲) (c)، تأثیر تغییرات دو متغیر زمان و دما بر روی پایداری امولسیون پروتئین عدس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که با گذشت زمان پایداری امولسیون کمی افزایش پیدا کرده است اما تغییرات دما تأثیر زیادی بر روی پایداری امولسیون نداشته است.Rahmati *et al.,* (2017) ، در تحقیقی مشابه گزارش کردند که در اثر اعمال حرارت پایداری امولسیون کمی کاهش پیدا کرد. با توجه به موارد عنوان شده، پایداری امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس مطابق رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

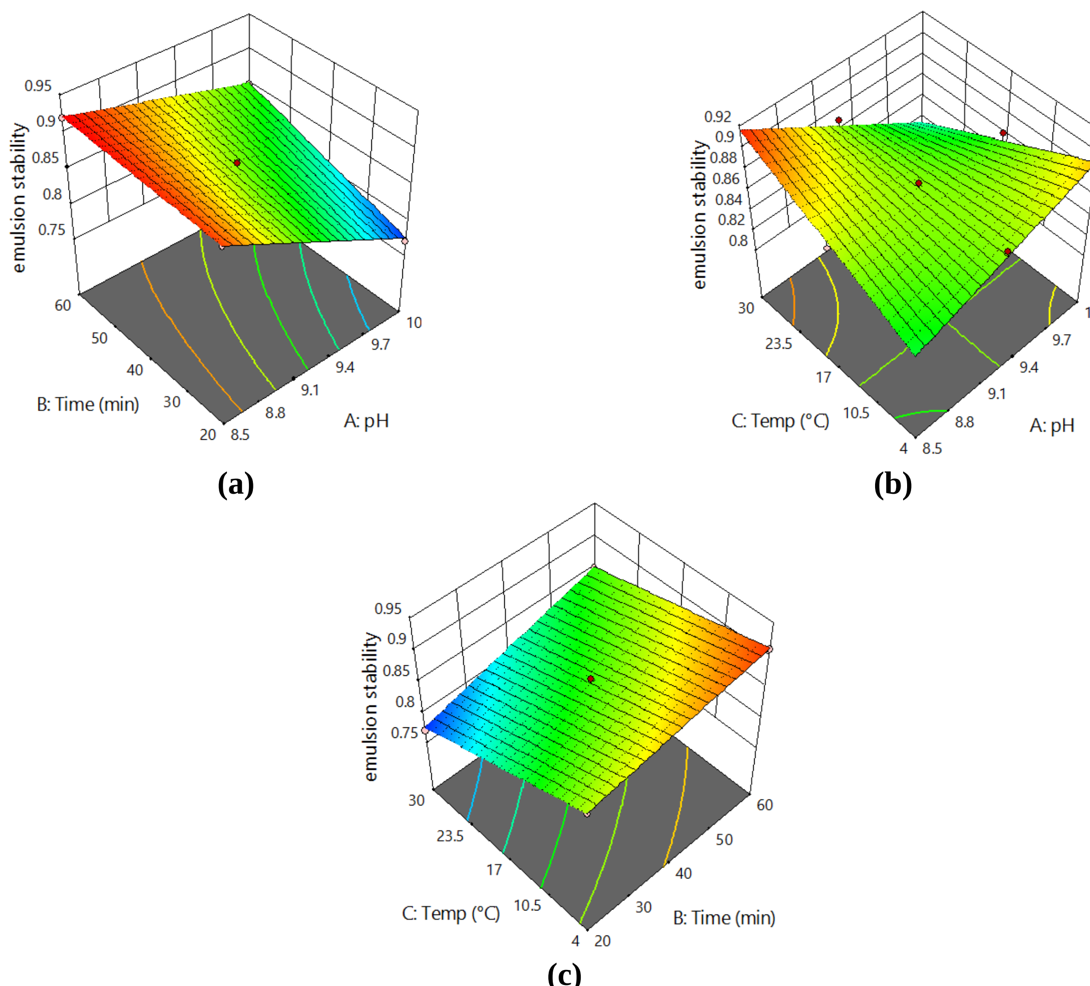
$$Y = 0.865 - (0.012 \times A) + (0.013 \times B) + (0.016 \times A \times B) - (0.038 \times A \times C) + (0.008 \times B \times C)$$ رابطه (۴)

که در این رابطه Y پایداری امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس، A نماد pH، B زمان سانتریفیوژ و C دمای سانتریفیوژ می‌باشد.

ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت کف‌کنندگی

ظرفیت کف‌کنندگی براساس توانایی پروتئین در کاهش تنش سطحی، انعطاف‌پذیری مولکولی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (خواص آبدوستی، بار و توزیع آن و خواص هیدرودینامیکی) تعیین می‌شود. افزایش غلظت نمونه، واکنش‌های پروتئین-پروتئین را تشدید می‌کند که موجب افزایش ویسکوزیته شده و تشکیل یک فیلم پروتئینی چند لایه متصل به سطح آن را تسهیل می‌کند. همچنین افزایش در غلظت نمونه می‌تواند منجر به تولید فیلم‌های ضخیم‌ترشود (Adebowale & Lawal, 2004).

طبق نتایج آنالیز واریانس برای ارزیابی پارامتر پاسخ ظرفیت کف‌کنندگی، F-Value مدل درجه دوم برابر با ۲۷/۰۱ است که بیانگر این است مدل معنادار است. مقدار p-value مربوط به آثار متقابل کمتر از ۰/۰۵ است (۰/۰۰۱)، بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۲۸/۹۵ است. به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند. مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۰۶۱ نشان می‌دهد که این عدد کاملاً به ۱ نزدیک بوده و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precisionدر این مدل عدد ۱۹/۶۵ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۷۵۷۱ و Adj R-Squared برابر با ۰/۸۷۲۵ است.



شکل ۲- نمودار سه بعدی اثر متقابل زمان و pH (a)، دما و pH (b)، دما و زمان (c) بر روی پایداری امولسیون پروتئین عدس

Fig. 2. The interaction of time and pH (a), the interaction of temperature and pH (b), the interaction of time and temperature (c) on the emulsion stability of lentil protein

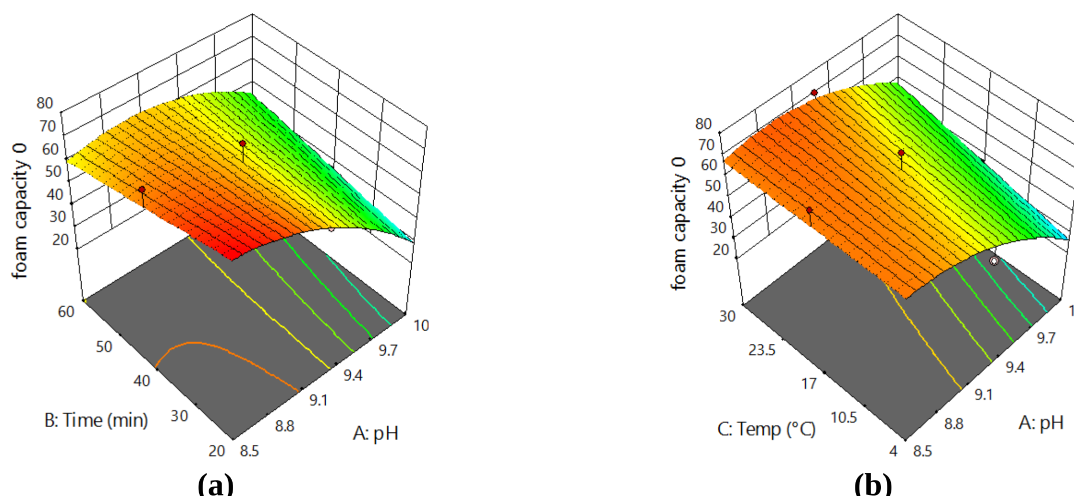
نمودارهای سطح پاسخ سه بعدی ظرفیت کف‌کنندگی

شکل (۳) نتایج مربوط به اندازه‌گیری ظرفیت کف‌دهی پروتئین هیدرولیز شده عدس در لحظه صفر یا همان لحظه تشکیل کف را نشان می‌دهد. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای pH و دما تأثیر معنی‌داری بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین عدس داشتند ($P<0.05$) و زمان معنی دار نبوده است ($P>0.05$).

در شکل (۳) (a)، اثر متغیرهای زمان و pH بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین عدس ارزیابی شده است. با توجه به شکل، مشخص است که با افزایش pH، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین عدس کاهش پیدا کرده است. همچنین با افزایش زمان از ۲۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه، ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین کمی کاهش پیدا کرده است. شکل (۳) (b)، نیز تأثیر تغییرات دما و pH بر روی ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین عدس را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با افزایش دما، ظرفیت کف-کنندگی پروتئین عدس تغییر پیدا نکرده است. در حالی که افزایش pH منجر به کاهش ظرفیت کف‌کنندگی پروتئین عدس شد ($P<0.05$). در پژوهشی مشابه، Samaei *et al.*, (2018)، در ارزیابی ویژگی‌های عملکردی پروتئین باقلای هیدرولیز شده به روش هیدرولیز ترکیبی بیان کردند که ظرفیت کف‌کنندگی ایزوله پروتئین باقلا در pHهای مختلف با افزایش pH از ۴ به ۸ افزایش پیدا کرد. بیشترین کف‌کنندگی پروتئین باقلا در pH برابر ۸ مشاهده شد و در pH برابر با ۱۰ در تمامی نمونه‌ها کف‌کنندگی کاهش پیدا کرد. با توجه به موارد عنوان شده، ظرفیت تشکیل کف مطابق رابطه (۵) به‌دست می‌آید:

$$Y = 62.20 - (15.30 \times A) + (5.10 \times C) + (7.88 \times A \times B) + (5.38 \times A \times C) - (9.70 \times A^2)$$ رابطه (۵)

که در این رابطه Y ظرفیت تشکیل کف، A نماد pH، B زمان سانتریفیوژ و C دمای سانتریفیوژ می‌باشد.



شکل ۳- نمودار سه بعدی اثر متقابل زمان و pH (a)، دما و pH (b) بر روی ظرفیت کف‌دهی پروتئین عدس در لحظه صفر (لحظه تشکیل کف)

Fig. 3. The interaction of time and pH (a), the interaction of temperature and pH (b) on the foaming capacity at zero moment

ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف

پایداری کف مدت زمانی است که کف تولیدی بر اثر عواملی مانند نیروی جاذبه و تنش‌های مکانیکی به ۵۰ درصد حجم اولیه خود کاهش یابد (Cherry & McWatters, 1981).

طبق نتایج آنالیز واریانس برای ارزیابی پارامتر پاسخ پایداری کف، F-Value مدل درجه دوم برابر با ۳۸/۴۱ بوده که بیانگر معنا دار بودن مدل است. مقدار p-value مربوط به آثار متقابل کم تر از ۰/۰۵ است، بنابراین تأثیر معناداری بر مدل دارد. مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۱/۲۶ است. بعبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می کند. مقدار R-Squared برابر با ۰/۹۵۷۳ نشان می‌دهد و بیانگر تطبیق زیاد نتایج مدل با نتایج تجربی است. Adeq Precision در این مدل عدد ۲۱/۵۰ بیانگر سیگنال کافی است. مقدار Pre R-Squared برابر با ۰/۸۷۸۶ و Adj R-Squared برابر با ۰/۹۳۲۳ است.

نمودارهای سطح پاسخ سه بعدی پایداری کف

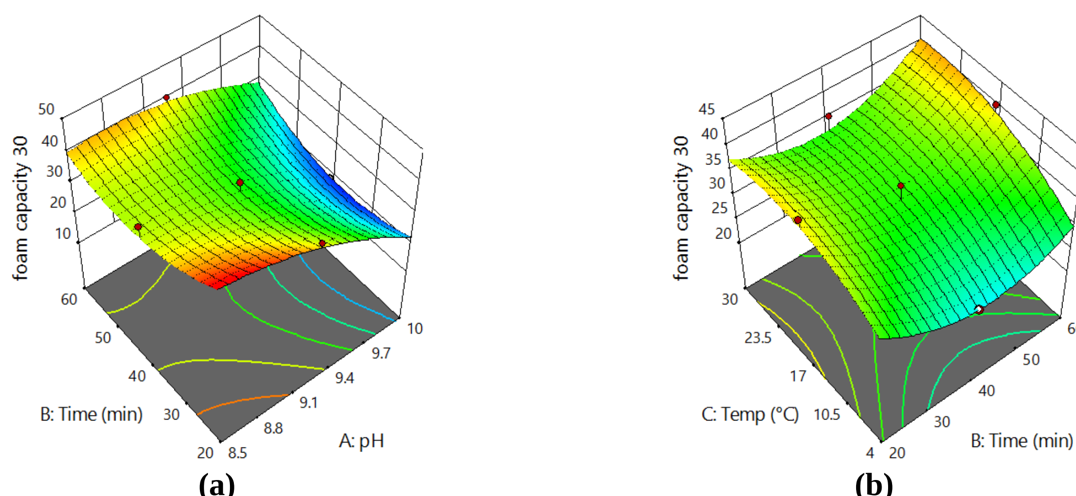
پایداری کف پروتئین عدس، با اندازه‌گیری حجم کف تولید شده پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف ارزیابی شد که نتایج مربوط به آن در شکل (۴) ارائه شده است. بر اساس آنالیز واریانس، متغیرهای pH و دما تأثیر معنی داری بر روی پایداری کف پروتئین عدس در ۳۰ دقیقه داشتند ($P<0.05$).

با توجه به شکل (۴) (a)، با افزایش pH، حجم کف و پایداری آن کاهش پیدا کرده است ($P<0.05$). بطوریکه بیشترین پایداری کف پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف، در pH برابر با ۸/۵ مشاهده شد و با افزایش pH، از ۸/۵ به ۱۰ حجم کف و پایداری آن به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است ($P<0.05$). همچنین با گذشت زمان، ابتدا پایداری کف کاهش یافت اما با افزایش بیشتر زمان شاخص پایداری کف کمی افزایش پیدا کرد که با توجه به نتایج آنالیز آماری، این تغییرات غیر معنی‌دار بود ($P> 0.05$). شکل (۴) (b)، تأثیر دما و زمان بر روی پایداری کف پروتئین عدس پس از گذشت ۳۰ دقیقه از تشکیل کف را نشان می‌دهد. نتایج شکل حاکی از آن است که افزایش زمان تأثیری بر روی پایداری کف پروتئین عدس نداشت اما با افزایش دما، پایداری کف کمی افزایش پیدا کرد. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، Samaei *et al.*, (2018)، گزارش نمودند که بیشترین پایداری کف در pH برابر ۸ مشاهده گردید و با افزایش pH تا مقدار ۱۰، پایداری کف کاهش پیدا کرد. این محققین بیان کردند که ایزوله‌ی پروتئین باقلا در pH برابر ۴، پس از زمان ۶۰ دقیقه فاقد کف بود. با

توجه به موارد عنوان شده، پایداری کف پروتئین عدس پس از گذشت ۳۰ دقیقه مطابق رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$Y = 32.20 - (8.90 \times A) + (3.70 \times C) + (3.38 \times A \times C) + (1.63 \times B \times C) - (4.50 \times A^2) + (6.50 \times B^2) - (3.50 \times C^2)$$ رابطه (۶)

که در این رابطه Y پایداری کف پروتئین عدس پس از گذشت ۳۰ دقیقه، A نماد pH، B زمان سانتریفیوژ و C دمای سانتریفیوژ می‌باشد.



شکل ۴- نمودار سه بعدی اثر متقابل زمان و pH (a)، زمان و دما (b) بر روی پایداری کف پروتئین عدس پس از گذشت ۳۰ دقیقه

Fig. 4. The interaction of time and pH (a), the interaction of time and temperature (b) on the stability of lentil protein foam after 30 minutes of foam formation

بهینه‌سازی پارامترهای پاسخ

پس از آنالیز واریانس داده‌ها به منظور بهینه‌سازی عددی برای یافتن یک فرایند بهینه، متغیرهای مستقل بر اساس تمامی آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی بهینه شد. پروتئین مطلوب دارای بیشترین میزان راندمان، خصوصیات امولسیون- کنندگی و کف‌کنندگی است. لذا با در نظر گرفتن این موارد به یافتن نقطه بهینه پرداخته شد.

بهینه‌سازی و استخراج پروتئین عدس رقم کیمیا با توجه به معیارهای تعیین شده توسط نرم افزار انجام شد و داده‌های پیش‌بینی شده برای نمونه بهینه مطابق جدول (۲) در شرایط دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۰ دقیقه و مقدار pH ۸/۶ به‌دست آمد. داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های آزمایشگاهی به وسیله آزمون T-student مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج تفاوت آماری نداشتند که بیانگر دقت مناسب مدل می‌باشد ($P<0.05$).

جدول ۲- شرایط پیشنهادی نرم افزار برای بهینه‌سازی فرایند استخراج

Table 2. Predicted optimal conditions

شماره Number	pH	زمان (دقیقه) Time (min)	دما (درجه سانتی‌گراد) Temprature	استخراج پروتئین protein extraction	ظرفیت کف در زمان ۰ (میلی لیتر) (mL) foam capacity 0	ظرفیت کف در زمان ۳۰ دقیقه (میلی لیتر) foam capacity 30 (mL)	ظرفیت امولسیون emulsion capacity (v/v)	پایداری امولسیون emulsion stability (v/v)	مطلوبیت Desirability	
1	8.621	20.000	30.000	2.312	75.406	44.406	0.948	0.899	0.904	Selected

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، بهینه‌سازی شرایط فرایند استخراج و ارزیابی خصوصیات عملکردی پروتئین عدس رقم کیمیا با استفاده از روش RSM انجام و پارامترهای pH، زمان و دمای استخراج به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شده است. نتایج نشان داد که مدل آماری درجه دوم با دقت بالایی بمنظور پیش بینی پارامترهای پاسخ، قابل استفاده بوده و همچنین نتایج بهینه‌سازی و پیش‌بینی مدل با نتایج تجربی همخوانی مناسبی دارد. مهمترین نتایج این تحقیق عبارتست از:

- میزان pH بر روی ظرفیت و پایداری امولسیون پروتئین عدس تأثیر معنی‌داری داشته و با افزایش pH، پایداری امولسیون پروتئین عدس کمی افزایش یافت. در حالیکه افزایش pH، منجر به کاهش ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف شد.
- با افزایش دما ظرفیت کف‌کنندگی، پایداری کف و پایداری امولسیون پروتئین عدس افزایش پیدا کرد. همچنین، افزایش دما تأثیر معنی‌داری بر روی ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس نداشت.
- ارزیابی تأثیر متغیر مستقل زمان بر روی ویژگی‌های پروتئین عدس نیز نشان داد که با افزایش زمان میزان ظرفیت کف‌کنندگی، پایداری کف و پایداری امولسیون پروتئین عدس کاهش پیدا کردند. همچنین، افزایش زمان تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی پروتئین عدس نداشت.
- مقدار بالای پروتئین دلیل بر بهتر بودن ویژگی‌های عملکردی آن نمی‌باشد و می‌توان گفت سایر ترکیبات موجود در نمونه مانند کربوهیدرات و چربی بر کیفیت پروتئین از موارد اصلی در تعیین ویژگی‌های عملکردی می‌باشد.

نتایج این پژوهش می‌تواند راهی موثر بر استفاده از این ماده به‌عنوان منبعی فراوان و در دسترس از پروتئین و سایر ترکیبات مغذی مناسب در فراورده‌های صنایع غذایی باشد. همچنین می‌توان ترکیبات با ارزش ضروری را از این منابع استخراج و به‌عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی در محصولاتی همچون سوسیس و کالباس استفاده نمود. نتایج به‌دست آمده‌ی پژوهش حاضر حاکی از آن بود که با توجه به خصوصیات عملکردی خوب و مناسب پروتئین عدس، از آن می‌توان به‌عنوان عنصری در بهبود ویژگی‌های مواد غذایی استفاده کرد و پتانسیل مناسبی برای استفاده در فرمولاسیون ترکیب‌های غذایی جدید دارد.

منابع

1.Adebowale, K.O., and Lawal, O.S. 2004. Comparative study of the functional properties of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucun bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food Research International 37(4): 355-365.

2.Arcan, I., and Yemenicioglu, A. 2007. Antioxidant activity of protein extracts from heat-treated or thermally processed chickpeas and white beans. Food Chemistry 103(2): 301-312.

3. Aydemir, L. Y., & Yemenicioğlu, A. 2013. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. LWT-Food Science and Technology 50(2): 686-694.

4.Barać, M. B., Pešić, M.B., Stanojević, S.P., Kostić, A. Z., and Čabrilo, S.B. 2015. Techno-Functional properties of pea (Pisum sativum) protein isolates - a Review. Acta Periodica Technologica, 46: 1-18.

5.Baskar Venkidasamya., Dhivya Selvaraj., Arti Shivraj Nile., Sathishkumar Ramalingam., Guoyin Kaia., Shivraj Hariram Nilea, 2019. Indian pulses: A review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspectives. Trends in Food Science & Technology 88 (2019): 228-242.

6.Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. 2010. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. Food Research International 43(2): 537-546.

7.Cherry, J. P., and McWatters, K. H. 1981.Whippability and aeration. In Cherry, J. P. (Ed.), Protein functionality in foods, ACS symposium series (Vol. 147: pp. 217-242). Washington, DC: American Chemical Society.

8.Damodaran S. 1994. Structure-function relationship of food proteins. In: Hettiarachchy N S, Ziegler G R, eds., Protein Functionality in Food Systems. Marcel Dekker, New York. pp.1-37.

9.Day, L. 2013. Proteins from land plants - potential resources for human nutrition and food security. Trends in Food Science & Technology 32: 25-42.

10.de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. 2006. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. Food chemistry 94(3): 327-330.

11. Deng, Y., Huang, L., Zhang, C., Xie, P., Cheng, J., Wang, X., and Li, S. 2019. Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. Food Chemistry, 283: 539-548.
12. Ee-San, T., Ying-Yuan, N., Chee-Yuen, G. 2014. A comparative study of physicochemical characteristics and functionalities of pinto bean protein isolate (PBPI) against the soybean protein isolate (SPI) after the extraction optimization. Food Chemistry 152: 447-455.
13. Liang, H. N., & Tang, C. H. 2013. pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum* (L.)] proteins. Food Hydrocolloids 33(2): 309-319.
14. Mengxia, D., Jianhua, X., Bin, G., Xin, X., Wei, T., Xuan, L., Chang, L., Mingyong, X. 2017. Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. Food Hydrocolloids (2017): 1-10.
15.Niroshan Siva., Dil Thavarajah., Casey R. Johnson., Susan Duckett., Elliot D. Jesch., Pushparajah Thavarajah. 2017. Can lentil (*Lens culinaris* Medikus) reduce the risk of obesity. Journal of Functional Foods 38: 706-715.
16. Papalamprou, E. M., Doxastakis, G. I., & Kiosseoglou, V. 2010. Chickpea protein isolates obtained by wet extraction as emulsifying agents. Journal of the Science of Food and Agriculture 90(2): 304-313.
17. Porras-Saavedra, J., Guemez-Vera, N., Montañez-Soto, J. L., Fernández-Martínez, M. C., & Yañez-Fernández, J. 2013. Comparative study of functional properties of protein isolates obtained from three Lupinus species. Advanced in Bioresearch 4(4): 106-116.
18. Rahmati, N. F., Koocheki, A., Varidi, M., Kadkhodaee, R. 2017. Structural and functional properties of three genotypes of common bean proteins (Phaseolus vulgaris). Iranian Food Science and Technology Research Journal. 13: 79-91. (In Persian).
19. Samaei, S. P., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A. Alami, M. 2018. Investigation of functional and antioxidant properties of Faba bean protein hydrolysates using combined hydrolysis. Iranian Food Science and Technology Research Journal 12(2): 25-38. (In Persian).
20. Shevkani, K., Kaur, A., Kumar, S., & Singh, N. 2015. Cowpea protein isolates: functional properties and application in gluten-free rice muffins. LWT-Food Science and Technology 63(2): 927-933.
21. Yejun D, Lixin H, Caihong Z, Pujun X, Jiang C X W, Shouhai L. 2019. Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. Food Chemistry 283: 539-548.

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 14, No. 1, June 2023, p. 121-133 (Original Research Article)




Optimizing the functional properties of the emulsion and foam kimia lentil protein isolate

Assadbeigi[1], Mojgan; Zamindar[2*], Nafiseh; and Goli[3], Mohammad

1. MSc. in Food Science and Industry and in Food Chemistry, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan), Isfahan, Iran; mojganasssad@gmail.com
2. Associate Professor, Food Science and Industry, Faculty member, Department of Food Science and Industry, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan), Isfahan, Iran; n.zamindar@khuisf.ac.ir
3. Associate Professor, Food Science and Industry, Faculty Member, Department of Food Science and Industry, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan), Isfahan, Iran; mgolifood@yahoo.com

The Dates:
Received: 7 October 2022; **Revised:** 15 November 2022
Accepted: 10 January 2023; **Available Online:** 22 June 2023

How to cite this article:
Assadbeigi, M., Zamindar, N., and Goli, M. 2023. Optimizing the functional properties of the emulsion and foam kimia lentil protein isolate. Iranian Journal of Pulses Research 14(1): 00-00. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ijpr.v14i1.2207-1041

Introduction

In this study, the influence of three independent variables, namely temperature (ranging from 4 to 30 degrees Celsius), time (ranging from 20 to 60 minutes), and pH (ranging from 8.50 to 10), on the extraction of Kimia lentil protein, as well as the physical, chemical, and functional properties of the extracted protein, including emulsion capacity, emulsion stability, foam formation capacity, and foam stability, were evaluated. The response surface method, specifically the central composite design with 6 repetitions at the central point, was employed to conduct 20 standardized experiments. The maximum protein yield was achieved under the optimal conditions of a temperature of 30°C, a time of 20 minutes, and a pH value of 8.6. The highest foam stability was observed after 30 minutes of foam formation at a pH of 8.5, while the highest emulsifying capacity was observed at a pH of 10. The results of this research demonstrated that the lentil protein isolate from the Kimia variety can be effectively incorporated into food formulations, enhancing their nutritional value and functional characteristics. The lentil protein isolate is considered a high-quality natural protein and can serve as a valuable ingredient for improving the health benefits of food products or as a nutrient source on its own.

Materials and Methods

The raw material used in this research, including green lentil seeds of Kimia cultivar, was prepared from Kermanshah Agricultural Research Center. In order to model and optimize the conditions for protein extraction from green lentil seeds, the effect of independent variables including pH, centrifuge time and temperature, the response surface method (RSM) and Design Expert software were used. For this purpose, a central composite design with 5 levels and 6 replications at the central point during 20 performances was used to investigate the physicochemical and functional properties of green lentil protein isolate. The efficiency of lentil protein extraction was compared with the model predicted by t-student test at the probability level of 0.05.

Results and Discussion

The variables, temperature and time had no significant effect on the emulsifying capacity of lentil protein ($p>0.05$) and the variable pH has a significant effect ($p<0.05$). At a constant temperature of 4 degrees, the emulsifying capacity of lentil protein increases with increasing pH found. In addition, with the increase in time, the emulsifying capacity of lentil protein increased slightly, so that at pH 9.7 to 10, and the time from 52 to 60 minutes, lentil protein had the highest emulsifying capacity. The results of the study revealed that temperature, time, and pH exerted a significant effect on the stability of lentil protein emulsion

* **Corresponding Author:** n.zamindar@khuisf.ac.ir

($p<0.05$). Specifically, the stability of the emulsion decreased as the pH and alkalinity of the environment increased, and as the time extended from 20 to 60 minutes. At a constant time of 40 minutes, increasing the temperature from 4 to 30 °C and raising the pH from 8.5 to 10 led to an increase in emulsion stability. While the stability of the emulsion showed slight improvement over time, temperature variations had minimal impact on its stability. The analysis of variance demonstrated that both pH and temperature had a significant effect on the foaming capacity of lentil protein ($p<0.05$), while time did not exhibit significant influence ($p>0.05$). Increasing the pH resulted in a decrease in the foaming capacity of lentil protein. Additionally, there was a slight decline in foaming capacity as the time increased from 20 to 60 minutes. Interestingly, the foaming capacity did not show any notable changes with variations in temperature. Regarding the stability of lentil protein foam after 30 minutes, the analysis of variance indicated significant effects of pH and temperature ($p<0.05$). As the pH increased, the volume and stability of the foam decreased. The maximum stability of the foam after 30 minutes of foam formation was observed at a pH of 8.5. The stability of the foam was not affected by changes in time, but a slight increase in foam stability was observed with higher temperatures.

Conclusion

In this study, optimization of extraction process conditions and evaluation of functional properties of lentil protein of Kimia variety was done using RSM method. The parameters of pH, time and temperature of extraction were selected as independent variables. The results showed that the quadratic statistical model can be used with high accuracy to predict the response parameters, and the optimization and prediction results of the model are in good agreement with the experimental results. The pH had a significant effect on the capacity and stability of the lentil protein emulsion, while the increase in pH led to a decrease in the foaming capacity and foam stability. With increasing temperature, foaming capacity, foam stability and emulsion stability increased. Also, increasing the temperature had no significant effect on the emulsifying capacity of lentil protein. The evaluation of the independent variable effect of time on the characteristics of lentil protein also showed that with the increase of time, the amount of foaming capacity, foam stability and emulsion stability of lentil protein decreased. Also, increasing the time did not have a significant effect on the emulsifying capacity of lentil protein. The presence of high protein content alone does not solely account for the improved functional characteristics observed. It is important to consider other compounds present in the sample, such as carbohydrates and fats, as they also influence the quality and functional properties of the protein. These factors collectively contribute to determining the overall functional characteristics of the lentil protein. The findings of this study highlight the potential of lentil protein as a readily available and abundant source of protein, along with other beneficial nutritional compounds, for use in the food industry. The results offer valuable insights into utilizing lentil protein to enhance the properties of food products and indicate its promising potential for formulating innovative food compositions. In summary, the research outcomes emphasize the favorable and appropriate functional characteristics of lentil protein, making it a valuable ingredient for improving food properties. This underscores the feasibility of incorporating lentil protein into food formulations to enhance their overall quality and nutritional profile.

Keywords: Emulsion stability، Foam capacity، Lentil protein، Optimization